1. SISTEME MECATRONICE–CONSTRUCŢIE ŞI CALCUL

1.1. Elemente introductive în mecatronică

Mecatronica reprezintă o etapă naturală în procesul de evoluţie a proiectării inginereşti moderne. Dezvoltarea calculatorului şi apoi a microcalculatorului, calculatoarele incorporate şi progresele tehnologiilor de informare şi software asociate au făcut să se apară *mecatronica* în ultima parte a secolului XX. Se aşteaptă ca în sec. XXI odată cu progresele de integrare a sistemelor bioelectro-mecanice, calculatoarelor cuantice*,* a sistemelor nano- şi pico- şi altor dezvoltări neprevăzute viitorul mecatronicii este plin de potenţial şi noi posibilităţi.

1.1.1. Ce este Mecatronica ? Definiţii de bază

- *Definirea* mecatronicii a evoluat de la cea *originală* dată de *Yasakawa Electric Company* care suna astfel: cuvântul "***mecatronic***" este compus din "***meca***" de la mecanică sau mecanism şi "***tronic***" de la "electronic", cu alte cuvinte tehnologiile şi dezvoltarea produselor vor conţine din ce în ce mai multă electronică incorporată în partea mecanică, fiind imposibil să se delimiteze unde se termină una şi unde începe cealaltă.
- O altă *definiţie, mai evoluată*, a fost prezentată în 1996 de *Harashima, Tomizuka şi Fukada* care înţeleg prin mecatronică ***integrarea sinergetică a ingineriei mecanice cu electronica şi controlul prin calculator în proiectarea şi fabricarea produselor şi proceselor industriale***.
- În acelaşi an, *Auslander şi Kempf* au sugerat o altă definiţie prin care mecatronica este ***aplicarea unei decizii complexe asupra funcţionării sistemelor fizice***.
- În 1997 definiţia datorată lui *Shetty şi Kolk* arată că mecatronica este o ***metodologie utilizată pentru pentru proiectarea optimă a produselor electromecanice***.
- Recent, *W. Bolton* defineşte un ***sistem mecatronic nu*** ca ***o simplă alăturare a sistemelor mecanic, electric şi a unuia de control, ci este o integrare a tuturor acestora***.

Toate aceste definiţii şi formulări sunt corecte şi informative, fiecare dintre ele nereuşind să cuprindă totalitatea mecatronicii. În ciuda eforturilor continue de a defini mecatronica, de clasificare a produselor mecatronice şi dezvoltare a conţinutului standard al mecatronicii nu s-a ajuns la un consens în această privinţă, ceea ce este un semn bun că acest domeniu există şi este un subiect proaspăt (tânăr). Chiar fără o descriere definitivă, inginerii înţeleg din definiţiile mai sus menţionate şi propria experienţă *esenţa filozofiei mecatronicii*.

Pentru mulţi ingineri practicieni din proiectare mecatronica nu este nouă, deoarece majoritatea produselor din ultimii 30 de ani conţin sisteme mecanice, electrice şi de programare prin calculator, fără a fi proiectate numaidecât de specialişti în mecatronică.

Se constată că practica proiectării inginereşti moderne concurenţiale, văzută acum ca parte a specializării de mecatronică, este un process natural de proiectare. Este evident că studiul mecatronicii asigură un mecanism, pentru cei interesaţi în înţelegerea şi explicarea procesului de proiectare inginerească, de definire, clasificare, organizare şi integrare a multor aspecte ale proiectării produselor într-un ansamblu unitar.

Faţă de domeniile clasice de studiu ale ingineriei mecanice, electrice, aerospaţiale, chimice, civile şi informatice, se abordează mecatronica drept un domeniu de studiu în facultate, recunoscut pretutindeni în lume.

Astfel, trebuie înţeles că ***mecatronica*** nu este numai o structură de studii de investigare pentru învăţământul superior, ci ***este un mod de viaţă în practica inginerească modernă***.

Introducerea microprocesoarelor la începutul anilor 1980 şi odată cu creşterea raportului performanţe dorite-cost au revoluţionat paradigma proiectării inginereşti. A crescut numărul de produse noi realizate prin întrepătrunderea disciplinelor tradiţionale ale ingineriei, ştiinţei calculatoarelor şi ştiinţelor naturii, dezvoltările în aceste discipline fiind absorbite de proiectarea mecatronică într-un acord deplin.

Revoluţia permanentă a tehnologiei informaţiei, progresele în comunicarea wireless, proiectarea senzorilor inteligenţi (imposibilă prin tehnologie MEMS) şi ingineria sistemelor incorporate asigură că proiectarea inginerească va continua să evolueze în secolul XXI.

1.1.2. Elementele cheie ale mecatronicii

Studiul mecatronicii se poate împărţi în următoarele arii de specialitate, (figura 1.1):

1. modelarea sistemelor fizice;
2. senzori şi actuatori;
3. semnale şi sisteme;
4. calculatoare şi sisteme logice;
5. software şi achiziţie de date.

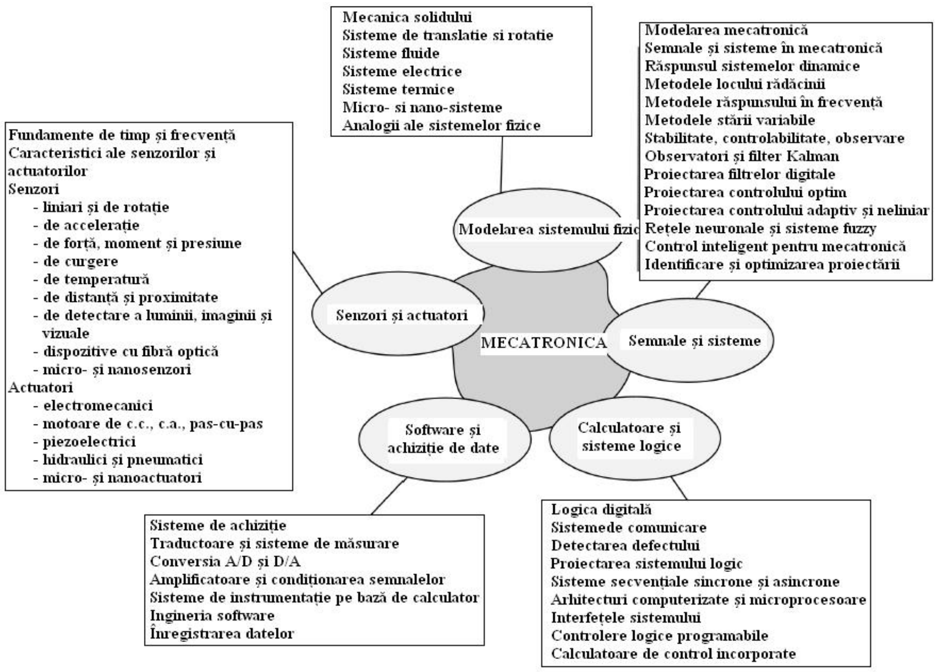


Fig. 1.1 *Elementele componente ale mecatronicii*

1.1.3. Scurt istoric al dezvoltării domeniului mecatronicii

Încercarea de a construi sisteme mecanice automate are o istorie interesantă. De fapt termenul de "automatizare" nu era folosit înainte de anii 1940 când compania Ford Motor definea un process în care o maşină transfera un subansamblu de la o staţie la alta şi apoi o poziţiona cu precizie pentru operaţii de asamblare suplimentare, dezvoltarea de

success a sistemelor mecanice automate apărând mult mai târziu. De exemplu, aplicaţiile timpurii ale controlului automat au fost inventate în Europa şi Rusia între secolele XV şi XIX , multe dintre aceste dispozitive stând la baza mecatronicii.

Cornelis Drebbel (1572–1633) din Olanda a conceput regulatorul de temperatură care reprezintă unul din primele sisteme feedback la acel timp.

Ulterior, Dennis Papin (1647–1712) a inventat în 1681 regulatorul de siguranţă a presiunii pentru boilerele cu abur, care este similar cu supapa de presiune din zilele noastre.

Prima maşină de calcul mecanică a fost concepută de Pascal în 1642, iar primul sistem feedback a fost dezvoltat de Polzunov în 1765 (regulatorul plutitor pentru nivelele de apă din figura 1.2 compus dintr-un plutitor care se ridică şi coboară în funcţie de nivelul apei, prin aceasta controlând supapa care obturează intrarea apei în boiler).

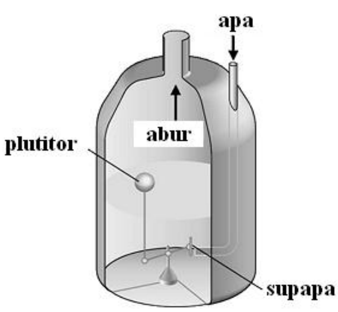


Fig. 1.2 *Regulatorul cu plutitor*

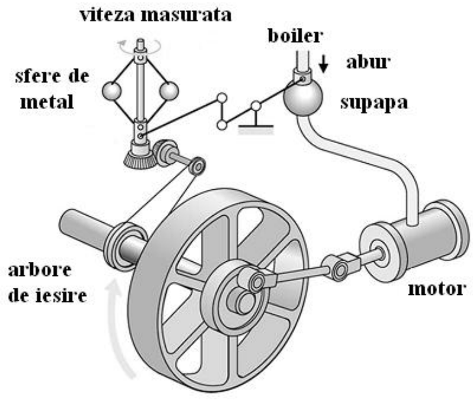


Fig. 1.3 *Regulatorul cu bile Watt*

Evoluţia ulterioară în automatizare nu era posibilă fără progresele în domeniul teoriei controlului care are începe cu regulatorul cu bilă al lui Watt (figura 1.3) din 1769, folosit pentru controlul vitezei unui motor cu abur. Folosind măsurarea vitezei arborelui de ieşire şi mişcarea bilei pentru controlul supapei, este controlată cantitatea de abur care intră în motor. Dacă viteza motorului creşte, sferele de metal de pe aparatul regulator se ridică şi se depărtează de axa arborelui, închizând astfel

supapa. Acesta este un exemplu al unui sistem de control feedback unde semnalul feedback şi acţionarea controlului este legată complet la un *hardware* mecanic.

Următorul pas în evoluţia automatizării necesită o teorie a controlului automat. Precursorul maşinilor cu comandă numerică NC pentru prelucrarea automată (care s-au dezvoltat în anii 1950 şi 1960 la MIT) au apărut încă din anii 1800 cu inventarea controlului feed-forward a războaielor de ţesut de către Joseph Jacquard din Franţa.

La sfârşitul anilor 1800, J. C. Maxwell a iniţiat teoria controlului pornind de la analiza unui set de ecuaţii diferenţiale care descriau regulatorul cu bile. Maxwell a cercetat efectul diferiţilor parametri ai sistemului asupra performaţelor acestuia.

Aproape în acelaşi timp, Vyshnegradskii formulează teoria matematică a regulatorilor, iar în 1830 Michael Faraday descrie legea inducţiei care va fi baza motoarelor electrice şi sistemelor dynamo.

La sfârşitul anilor 1880, Nikola Tesla a inventat motorul cu inducţie de curent alternativ, când s-a stabilit exact ideea de bază a sistemelor mecanice automate.

Evoluţia automatizării se va accelera semnificativ în secolul XX, odată cu dezvoltarea elementelor de control pneumatic în 1930, cu aplicaţii în procesele industriale.

Înainte de 1940, proiectarea sistemelor de control rămâne o tehnică generală caracterizată prin metoda aproximaţiilor successive.

În timpul anilor 1940, odată cu evoluţia metodelor matematice şi analitice, apare noţiunea de ingineria controlului ca o disciplină inginerească independentă.

Dezoltarea sistemului de telefonie şi amplificatoarelor feedback electronice în USA au impus utilizarea feedback-ului de Bode, Nyquist şi Black la Laboratoarele telefonice Bell.

Funcţionarea amplificatoarelor feedback a fost descrisă în domeniul de frecvenţă şi practicile de analiză sunt acum clasificate drept "***control clasic***".

În timpul aceleiaşi perioade, teoria controlului a fost dezvoltată în Rusia şi Europa de Est, matematicienii şi mecanicişti deţineau

supremaţia în domeniul controlului şi s-au concentrat asupra formulărilor în domeniu timp şi modelelor cu ecuaţii diferenţiale ale sistemelor.

Dezvoltări ulterioare ale formulărilor în domeniu timp folosind reprezentările stării variabile a sistemului apar în anii 1960 şi au condus la practicile proiectării şi analizei cunoscută azi drept "***control modern***".

În timpul celui de-al doilea război mondial s-au făcut eforturi care au dus la progresul teoriei şi practicii controlului automat în domeniul proiectării şi construcţiei piloţilor automaţi ai avionului, sistemelor de poziţionare a tunurilor, sisteme de control ale antenelor radar şi alte sisteme militare. Complexitatea şi performanţele aşteptate ale acestor sisteme au necesitat o extindere a tehnicilor de control disponibile, interesul crescând în domeniul sistemelor de control şi dezvoltarea unor noi intenţii şi metode. După al doilea război mondial, tehnicile domeniului de frecvenţă continuă să domine controlul, cu utilizarea pe scară mai largă a transformatei Laplace.

Pe parte comercială, economiile realizate prin producţia de masă, automatizarea procesului de producţie au avut prioritate începând cu anii 1940.

În timpul anilor 1950, inventarea camei, mecanismelor cu articulaţii şi transmisiile prin lanţ au devenit precursoarele unor produse noi de precizie şi viteză ridicată. Exemplele includ maşinile textile şi de tipărire, maşini de prelucrat hârtia şi maşini de cusut.

Dezvoltatea microprocesoarelor la sfârşitul anilor 1960 au dus la formele timpurii ale controlului prin calculator în proiectarea proceselor şi produselor. Exemplele includ maşinile cu comandă numerică şi sistemele de control de la bordul avioanelor. Procesele de prelucrare erau complet de natură mecanică, iar sistemele de automatizare şi control erau implementate ca o suplimentare.

Odată cu era spaţială s-a asigurat o dezvoltare continuă a sistemelor mecanice controlate. Rachetele şi probele spaţiale necesitau dezvoltarea unor sisteme de control complexe şi de precizie ridicată. În plus, cerinţa micşorării masei sateliţilor (ceea ce înseamnă minimizarea cantităţii de combustibil necesar misiunii) au determinat progrese importante în controlul de precizie (controlul optim). Metodele domeniului timp dezvoltate în Rusia şi USA se potriveau foarte bine cu disponibilitatea

crescută a calculatoarelor de mare viteză şi noile limbaje de programare pentru uz ştiinţific.

Progresele în fabricarea semiconductorilor şi circuitelor integrate au condus la dezvoltarea unei noi clase de produse care incorporează elemente mecanice şi electronice în sistem, fiecare cu funcţionalitatea lui.

Termenul de mecatronică introdus de Yasakawa Electric în 1969 reprezintă un astfel de sistem.

Iniţial mecatronica se referea la sisteme numai mecanice şi componente electrice, fără a fi implicat calculatorul. Astfel de exemple includ sistemul de glisare automată a uşilor, deschiderea automată a uşii garajului, maşini de distribuţie automată a articolelor de larg consum.

La sfârşitul anilor 1970, societatea niponă de promovare a industrie construcţiei de maşini JSPMI (Japan Society for the Promotion of Machine Industry) a clasificat produsele mecatronice în patru *categorii*:

- ***clasa I*** – produse mecanice primare cu elemente electronice incorporate pentru creşterea funcţionalităţii (ex.: MU cu comandă numerică, transmisii cu viteză variabilă la maşinile de prelucrare);
- ***clasa a II-a*** – sisteme mecanice tradiţionale cu dispozitive electronice incorporate, interfeţele utilizatorului extern nefiind modificate (ex.: maşini de cusut moderne şi sisteme de prelucrare automată);
- ***clasa a III-a*** – sisteme care reţin funcţionalitatea sistemului mecanic tradiţional, dar mecanismele interne sunt înlocuite de elemente electronice (ex.: ceasul digital);
- ***clasa a IV-a*** – produse proiectate cu tehnologii mecanice şi electronice prin integrare sinergetică (ex.: fotocopiatoare, maşini de spălat şi uscătoare inteligente, maşini de gătit şi cuptoare automate).

Tehnologiile pentru fiecare clasă de produse mecatronice ilustrează progresul produselor electromecanice în pas cu dezvoltările teoriei controlului, tehnologiilor de calcul şi microprocesoarelor.

Produsele din clasa I sunt validate prin servo-tehnologie, electronică de putere şi teoria controlului.

Produsele din clasa II sunt validate de disponibilitatea dispozitivelor timpurii de calcul şi memorie şi de posibilităţile proiectării circuitelor.

Produsele din clasa III se bazează puternic pe microprocesoare şi circuite integrate pentru înlocuirea sistemelor mecanice.

În final, produsele din clasa IV marchează începutul adevăratelor sisteme mecatronice, prin integrarea sistemelor mecanice şu electronice.

Integrarea sistemelor de calcul cu sistemele mecanice a devenit practică abia după 1970 odată cu dezvoltarea microproesoarelor de către Intel Corporation.

Diferenţa între controlul clasic şi cel modern a fost redus semnificativ în anii 1980 prin introducerea teoriei "controlului robust". Acum este unanim acceptat că ingineria controlului trebuie să considere simultan ambele abordări ale domeniului de timp şi domeniului frecvenţă în analiza şi proiectarea sistemelor de control.

De asemenea în timpul anilor 1980, utilizarea calculatoarelor digitale ca şi componente integrale ale sistemelor de control a devenit rutină. Există sute de mii de calculatoare de control a proceselor digitale instalate pretutindeni în lume.

Oricare definiţie a mecatronicii alegem să o adoptăm, este evident că mecatronica modernă implică calculatorul ca un element central.

De fapt, incorporarea microprocesoarelor pentru modularea precisă a puterii mecanice şi adaptarea schimbărilor mediului ambiant sunt esenţa mecatronicii moderne şi produselor inteligente.

Mecatronica este un domeniu interdisciplinar în care acţionează împreună următoarele discipline (figura 1.4):

- *sisteme mecanice* (elemente constructive mecanice, maşini, mecanica de prcizie),
- *sisteme electrice* (microelectronica, electronica de putere, tehnologia senzorilor şi actuatorilor),
- *tehnologia informatică* (teoria sistemelor, automatizare, ingineria software, inteligenţa artificială).

Figura 1.5 arată o schemă generală a unui proces mecatronic ca o maşină de producere (generare) a puterii.

Energia primară intră în maşină şi apoi este ori folosită direct pentru consumarea energiei în cazul unui transformator de energie, ori transformată într-o altă formă de energie în cazul convertoarelor de energie.

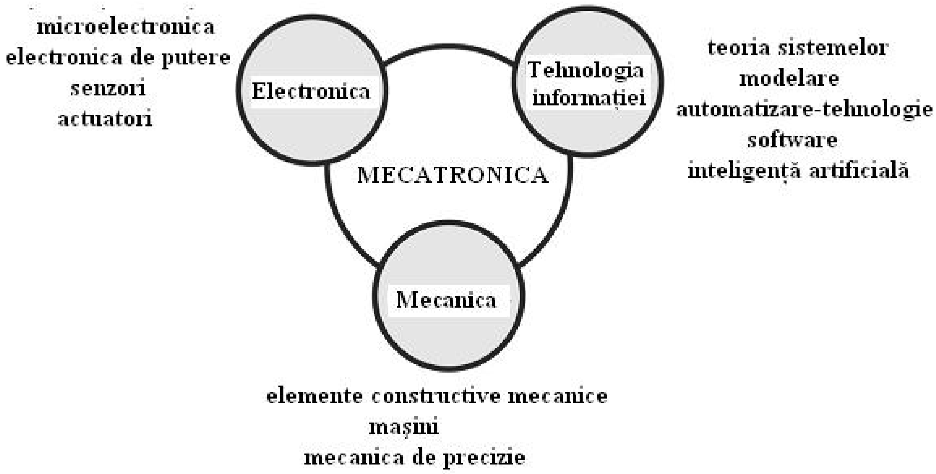


Fig. 1.4 *Mecatronica – integrarea sinergetică a diferitelor discipline*

Forma de energie poate fi electrică, mecanică (potenţială sau cinetică, hidraulică, pneumatică), chimică sau termică.

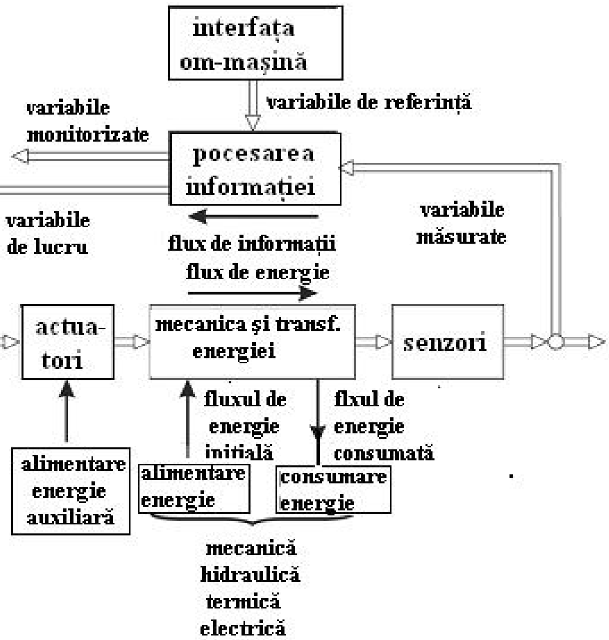


Fig. 1.5 *Procesul mecanic şi procesarea informaţiei în sistemele mecatronice*

Maşinile, în general, sunt caracterizate de un flux de energie continuu sau periodic (repetitiv), iar pentru alte procese mecanice cum sunt elementele constructive mecenice sau dispozitivele mecanice de precizie sunt tipice fluxurile de energie intermitente.

Sistemele mecatronice se pot subdiviza în:

- sisteme mecatronice,
- maşini mecatronice,
- vehicule mecatronice,
- mecatronica de precizie,
- micromecatronica

ceea ce arată că integrarea cu electronica cuprinde multe clase de sisteme tehnice. În numeroase cazuri, partea mecanică a procesului este legată de o parte de procesare electrică, termică, termodinamică, chimică sau informatică, ceea ce este adevărat în special în cazul maşinilor unde pe lângă energia mecanică apar şi alte forme de energie. De aceea *sistemele mecatronice* într-un sens mai larg cuprind procese mecanice şi nemecanice, dintre care domină cele mecanice.

Întrucât este necesară o energie auxiliară pentru modificarea proprietăţilor fixe ale sistemelor mecanice pasive de altădată prin controlul feedforward sau feedback, aceste sisteme sunt numite câteodată şi *sisteme mecanice active*.

1.1.4. Combinarea funcţiilor mecanice și electronice

Sistemele mecatronice permit multe funcţii noi şi îmbunătăţite. La proiectarea sistemelor mecatronice este esenţială *interacţiunea pentru realizarea funcţiilor părţii mecanice şi a celei electronice*. Comparativ cu realizarea mecanică pură, utilizarea amplificatoarelor şi actuatorilor cu energie auxiliară electrică conduc la simplificări considerabile ale dispozitivelor (ex. ceasuri, maşini de scris electrice, aparate de fotografiat sau filmat).

O altă simplificare considerabilă a mecanicii rezultă din *introducerea microcalculatoarelor* în legătură cu dispozitive electrice descentralizate aşa cum pot fi întâlnite la maşinile de scris electronice, maşinile de cusut, sistemele de manipulare multiaxe şi cutiile de viteze automate.

Proiectarea unor *construcţii uşoare* conduce la sisteme elastice care se amortizează rapid prin material. Poate fi realizată o amortizare electronică cu senzori de poziţie, viteză sau vibraţie şi feedback elecronic cu avantajul suplimentar al unei amortizări reglabile folosind algoritmi (ex. lanţurile de distribuţie elastice ale vehiculelor cu algoritmi de amortizare în electronica motorului, roboţi elastici, sisteme hidraulice, macarale de mare înălţime şi construcţii spaţiale.

Adăugarea controlului în buclă închisă pentru poziţie, viteză sau forţă determină o *urmărire precisă* a variabilelor de referinţă, precum şi o comportare aproximativ liniară chiar pentru sisteme mecanice care se comportă neliniar. Prin omiterea constrângerii liniarizării asupra părţii mecanice pot fi reduse eforturile de construcţie şi facbricaţie (ex. actuatorii simpli mecanici, pneumatici şi electromecanici, sau supape controlate electronic). Cu ajutorul generării liber programabile a variabilei de referinţă adaptarea sistemelor mecanice neliniare la operator poate fi îmbunătăţită. Aceasta este deja utilizată pentru caracteristicile pedalei de acţionare din electonica motorului la automobile, telemanipularea vehiculelor şi avioanelor, în dezvoltarea excavatoarelor acţionate hidraulic şi sistemelor de pilotare electrice.

Odată cu creşterea numărului de senzori, actuatori, întrerupătoare şi unităţi de control, cresc legăturile prin cablu şi electrice astfel încât principalele preocupări le reprezintă fiabilitatea, costul, greutatea şi spaţiul necesar. De aceea, dezvoltarea unor sisteme adecvate de conducere şi conectare electronice, redundante şi reconfigurabile, sunt provocări pentru proiectanţi.

Îmbunătăţirea proprietăţilor de funcţionare: prin aplicarea controlului feedback activ, precizia este obţinută nu numai prin precizie mecanică ridicată a unui element mecanic controlat feedforward pasiv, ci prin comparaţie a unei variabile de referinţă programată şi a unei variabile de control măsurată. De aceea, precizia mecanică în proiectare şi fabricaţie trebuie micşorată puţin şi pot fi utilizate construcţii mai simple pentru rulmenţi sau ghidaje.

Un aspect important îl reprezintă compensarea frecării mari şi variabile în timp prin *compensarea adaptivă a frecării*.

De asemenea, o frecare mare poate fi introdusă intenţionat cu efect asupra jocului (ca la angrenajele cu pretensionare) deoarece în mod obişnuit este mai uşor de compensat frecarea decât jocul.

Controlul pe bază de model şi cel *adaptiv* ţin seama de o gamă largă de operaţii faţă de controlul fix cu performanţe nesatisfăcătoare (pericol de instabilitate sau comportare lentă). O combinaţie de control robust şi adaptiv permite o gamă largă de operaţii pentru controlul debitului, forţei sau vitezei, precum şi pentru procese ca motoare, vehicule sau avioane. O mai bună performanţă a controlului determină apropierea variabilelor de referinţă faţă de restricţii cu îmbunătăţirea randamentelor şi productivităţii (de ex. temperaturi şi presiuni înalte pentru motoare cu combustie şi turbine, compresoare la limita calare, tensiuni ridicate şi viteze mari pentru maşinile de obţinere a hârtiei şi prese).

Adăugarea unor noi funcţii: sistemele mecatronice permit apariţia funcţiilor care nu pot fi realizate fără electronica digitală.

Cantităţile nemăsurabile pot fi calculate pe baza semnalelor măsurate şi influenţate de cotrolul feedforward sau feedback: variabilele dependente de timp (alunecarea pentru pneuri, tensiunile interne, temperaturile, unghiul de fugă şi viteza la sol pentru controlul direcţiei la vehicule, sau parametri cum sunt coeficienţii de amortizare şi rigiditate şi rezistenţele).

Un alt exemplu este adaptarea parametrilor ca amortizarea sau rigiditatea pentru sistemele oscilante, bazate pe măsurări ale deplasărilor sau acceleraţiilor.

Supravegherea şi diagnosticarea integrată devine din ce în ce mai importantă odată cu creşterea funcţiilor de automatizare, a complexităţii şi cerinţelor de înaltă fiabilitate şi siguranţă.

Declanşarea componentelor redundante, reconfigurarea sistemului, întreţinerea la cerere şi orice fel de *teleservice* fac sistemul mai „inteligent".

Modalități de integrare

Componentele unui sistem clasic mecanic și electronic este prezentat în schema din figura 1.6.

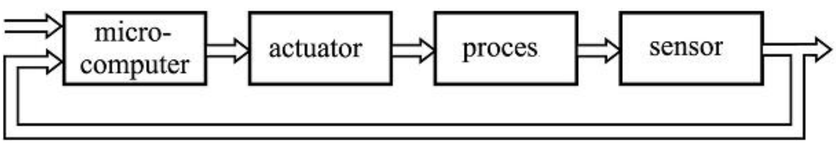


Fig. 1.6 *Schema generală a unui sistem clasic mecanic-electronic*

Un astfel de sistem rezultă în urma adăugării senzorilor, actuatorilor şi controlerilor, analogici sau digitali, la structura mecanică. Limitete acestei abordări erau date de lipsa senzorilor sau actuatorilor corespunzători, durată de viață nesatisfăcătoare în condiții grele de funcționare (accelerații, temperatură, contaminare), necesitatea unor spații mari și/sau cabluri de legătură și procesarea relativ lentă a datelor. Cu creșterea îmbunătățirilor privind miniaturizarea, robustețea și puterea de calcul a componentelor microelectronice, se poate pune mai mult accent pe partea electronică a sistemelor mecatronice prin utilizarea sistemelor autonome (unități capsulate cu transfer de semnal fără contact) şi microelectronică robustă. Integrarea într–un sistem mecatronic poate fi obținută prin integrarea componentelor și procesarea informației.

Integrarea componentelor (hardware) rezultă din proiectarea sistemului mecatronic ca un sistem global și întrepătrunderea senzorilor, actuatorilor și microcomputerilor în procesul mecanic, ca în figura 1.7. De asemenea integrarea procesării informației (software) este bazată cel mai mult pe funcțiile de control avansat. Pe lângă un control feedforward și feedback de bază poate avea loc o influență suplimentară prin procesul de cunoaștere și procesarea corespunzătoare a informației online.

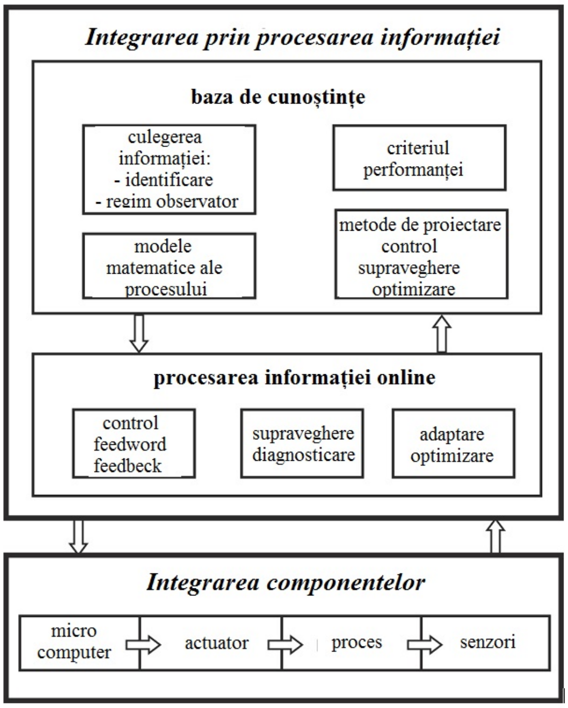


Fig. 1.7 Moduri de integare în sistemele mecatronice

1.2. Structura şi funcţiile sistemelor mecatronice

Conceptul de Mecatronică este astăzi un termen universal, des utilizat, dar pentru care nu s-a formulat încă o definiţie unitară, implicând o combinaţie de elemente mecanice, electrice/electronice şi de software.

În practica inginerească, dezvoltarea simultană şi întrepătrunderea a trei domenii diferite: *mecanica*, *electronica* şi *informatica* (figura 1.8) au condus la definirea unei noi ştiinţe *MECATRONICA*, ce studiază sistemele tehnice complexe denumite ***sisteme mecatronice*** şi înglobează aspecte legate direct de proiectare, fabricaţie, management şi marketing. Altfel spus ***Mecatronica*** este ştiinţa inginerească în care funcţionalitatea sistemelor tehnice se obţine printr-o conexiune strânsă între componente (elemente constructive) mecanice, electronice şi de prelucrare a datelor.

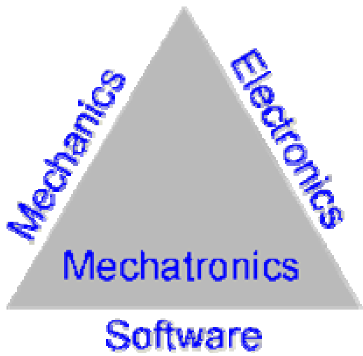


Fig. 1.8 *Definirea domeniului Mecatronicii*

Sinteza Mecanică, Electrotehnică, Electronică şi Software reprezintă forţa care face posibilă pornirea mişcării maşinilor, iar cerinţele asupra componentelor în acest domeniu sunt ridicate: să fie mici, compacte, rezistente, dinamice, sigure şi eficiente. Prin aceaste aspecte conceptul mecatronic aduce evaluări noi pentru construcţia de maşini (ex.: rezolvarea mecatronică a acţionării).

Dezvoltarea tehnologică din domeniul electronicii concretizată prin apariţia circuitelor integrate (mici, ieftine, fiabile - introduse în structura mecanică a unui produs) şi din tehnologia informatică prin apariţia microprocesoarelor (introduse în structurile electromecanice le conferă inteligenţă) alăturată tehnologiei mecanice determină obţinerea

sistemelor mecatronice de înaltă tehnicitate (maşini inteligente) cum arată figura 1.9.

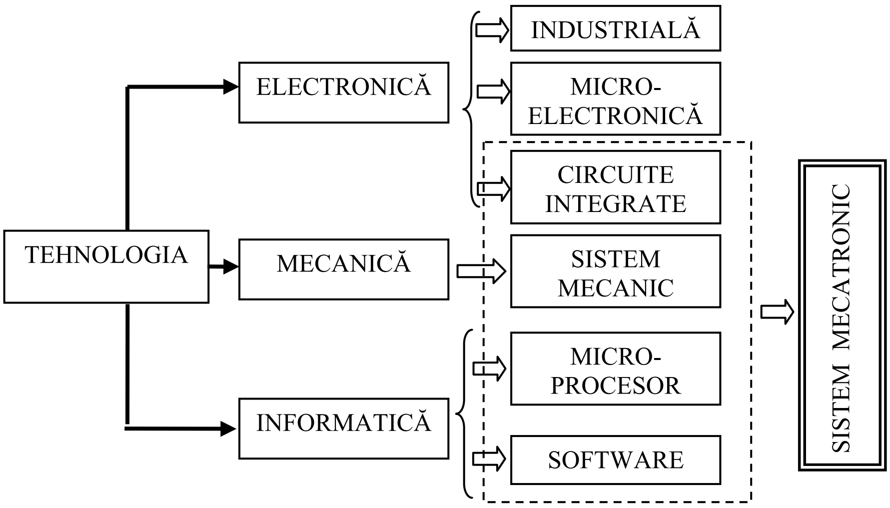


Fig. 1.9 *Obţinerea sistemelor mecatronice*

În general, sistemele tehnice mecatronice (maşini, utilaje, aparate, instalaţii, dispozitive), ca produse materiale, presupun *conversia* calitativă şi cantitativă a *energiei, materialelor şi/sau informaţiilor* de intrare în mărimi corespunzătoare la ieşire. Descrierea calitativă a scopului sistemului mecatronic se realizează prin relaţii între parametrii de intrare şi cei de ieşire şi se exprimă prin transformarea şi transmiterea energiei, materialului şi informaţiei. Cele trei ***tipuri de mărimi***: *energetice* (forţe, viteze, puteri), *de material* (masă, greutate, volum, debit) şi *de informaţie* (semnale) se transmit şi se transformă prin fluxuri cu funcţii bine determinate ce pot fi exprimate matematic (figura 1.10).

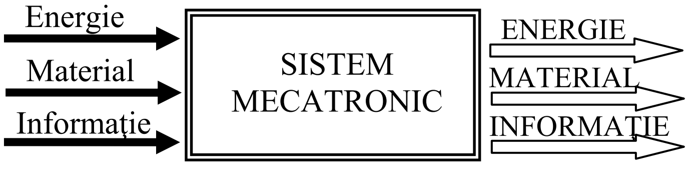


Fig. 1.10 *Transmiterea fluxului energetic într-un sistem mecatronic*

Între parametrii de intrare şi parametrii de ieşire se pot defini trei ***categorii de legături*** prin:
– funcţii *principale* pentru întregul sistem;
– funcţii *parţiale* pentru fiecare subsistem independent din punct de vedere funcţional din structura sistemului mecatronic;
– funcţii *auxiliare* pentru subsisteme şi fluxuri care participă indirect la îndeplinirea funcţiilor principale.

La baza realizării unui sistem mecatronic **SMCT** (figura 1.11) se află ***sistemul mecanic*** **SM** şi ***sistemul de acţionare*** **SA** pe care sunt montaţi ***traductori*** (senzori) **T** care transmit semnale la un ***sistem de comandă şi control*** **SCC** ce realizează conducerea tuturor funcţiilor printr-un program software de la calculator **PC**.

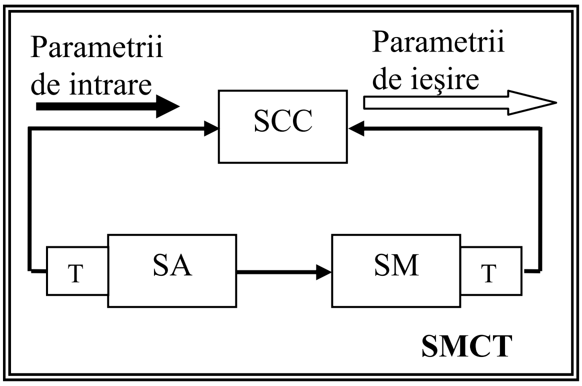


Fig. 1.11 *Structura unui sistem mecatronic*

La sistemele mecatronice ***intrările*** sunt sub formă de *energie electrică* şi *informaţie* (date de la tastatura calculatorului), iar ***ieşirile*** sunt sub formă de *energie mecanică* şi *informaţie* (rezultate afişate).

Structura unui sistem mecatronic este compusă din:
– sistem de programare (microprocesor);
– controler: realizează corectarea parametrilor curenţi faţă de cei impuşi;
– amplificator de putere: amplifică semnalul;
– actuator: transformă semnalul corectat în semnal de intrare (moment, forţă, viteză);
– sistem mecanic: realizează adaptarea parametrilor actuatorului la cerinţele funcţionale impuse;

– senzori: prelucrează informaţia referitoare la parametrii obţinuţi şi transmit semnale controlerului;
– dispozitivul de condiţionare a semnalelor: prelucrează semnalele de intrare în controler.

Sistemul mecanic are funcţia de a imprima obiectului de lucru mişcarea dorită, *sistemul de acţionare* pune în mişcare elementele sistemului mecanic, iar *sistemul de comandă şi control* stabileşte succesiunea şi vitezele mişcării elementelor sistemului mecanic. Astfel, ***funcţiile*** pe care le îndeplinesc cele trei tipuri de elemente componente ale unui sistem mecatronic diferă şi anume:

– *elementele constructive mecanice* asigură *transportul/transferul* de *material* şi *energie* (ex.: transmisii prin curea dinţată, fricţiune, planetare, armonice, cremalieră, şurub-piuliţă cu bile; ghidaje de rulare);

– *elementele constructive electronice* realizează transformarea de informaţie sub formă de parametri electrici (tensiune, intensitate, etc.) ignorând aspectul energetic cu accent pe fluxul de semnale (ex.: motoare electrice, microcontrolere, senzori, interfeţe seriale dintre calculator-sistem de acţionare sau calculator-sistem senzorial);

– *elementele constructive software* guvernează sistemul prin soft caracteristic prin programarea microcontrolerelor şi/sau conducerea directă a sistemului mecatronic proiectat.

1.3. Construcţia şi proiectarea sistemului mecanic

Elementele şi rolul lor în cadrul sistemelor mecatronice sunt redate sub forma schemei bloc din figura 1.12.

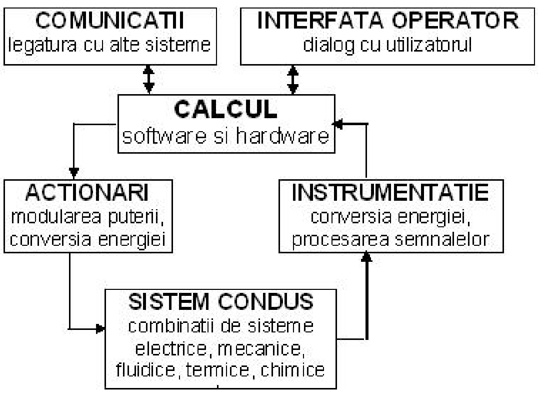


Fig. 1.12 *Componentele unui sistem mecatronic*

Un ***sistem mecanic*** poate fi reprezentat simplificat printr-o *schemă structural-constructivă* care diferă de cea funcţională prin faptul că sunt reprezentate toate elementele constructive componente şi interacţiunile dintre acestea pentru efectuarea analizei şi sintezei structurii respective. Pe această schemă se pot identifica şi alte elemente (cuple pasive, sisteme de lăgăruire, legături fixe, etc.), iar reprezentările permit evidenţierea fluxurilor de mişcare şi cele de forţă (principale şi auxiliare) interne şi externe.

Din punct de vedere *constructiv* sistemele mecanice ale structurilor mecatronice sunt formate din ansambluri, subansambluri şi elemente constructive (inclusiv organele de maşini) care pot fi identificate pe schemele structural-constructive.

Ansamblurile sunt părţi structurale independente care îndeplinesc roluri funcţionale bine definite şi au în componenţă subansambluri şi elemente constructive cu forme şi poziţii determinate de tehnologiile de execuţie, montaj, întreţinere şi exploatare.

Un sistem mecatronic complex poate fi alcătuit din mai multe ansambluri aflate în interacţiune prin legături permanente fixe între ele (legături interne) şi cu mediul ambiant (legături externe).

Subansamblurile sunt structuri independente constituite din cel puţin două elemente constructive sau din alte subansambluri care nu respectă totdeauna funcţionalitatea.

Elementele constructive sunt părţi componente distincte ale unui sistem mecanic, ansamblu şi/sau subansamblu aflate în interacţiune.

După *legăturile* existente între elementele constructive se pot deosebi următoarele categorii:

– interacţiuni *fixe*: permanente – nedemontabile;
– demontabile;

– interacţiuni *mobile*: directe (fără ungere);
indirecte (cu ungere).

Din punct de vedere funcţional, în diferite sisteme mecanice se regăsesc elemente constructive şi/sau subansambluri care au funcţii identice sau cvasiidentice, din care cauză s-au dezvoltat algoritmi de proiectare şi tehnologii avansate de execuţie şi montaj. Realizarea unui produs care să aibă caracteristici funcţionale, constructive şi de eficienţă ridicate trebuie să includă utilizarea unor subansambluri şi elemente constructive performante (de ultimă generaţie) ca forme constructive, materiale şi tehnologii de execuţie.

Sistemele mecanice din structurile mecatronice au *caracteristici* diferite faţă de cele din structurile mecanice obişnuite datorită atât condiţiilor şi performanţelor funcţionale, cât şi interferenţelor dintre subsistemele componente, astfel:

– rigiditate mărită chiar la mase mici;
– reducerea jocurilor şi creşterea preciziei;
– deformaţii elastice cât mai mici;
– pierderi prin frecare reduse şi randamente mari;
– lipsa vibraţiilor şi zgomotului;
– capacitate de amortizare;
– stabilitate la variaţii de temperatură.

Elementele constructive din componenţa sistemelor mecatronice se pot grupa în trei categorii, după funcţia pe care o îndeplinesc:
– *active*: poziţionate pe fluxurile energetice principale;
– *de rezemare*: pentru sprijinirea elementelor active (uni-, bi- , tridirecţional);
– *de legatură*: pentru realizarea asamblărilor,
iar după gradul de specializare pot fi:
– *specifice*: proiectate şi realizate pentru un singur produs;
– *specializate*: proiectate de firme specializate pentru funcţii aplicabile la mai multe produse.

Activitatea de proiectare a sistemelor mecatronice este un proces complex care nu diferă de proiectarea generală şi constă în transpunerea în practică a unei teme impusă de beneficiar/utilizator, prin tehnologie adecvată, pentru realizarea unui produs mecatronic.

Scopul proiectării este de a găsi structurile necesare şi adecvate pentru ca produsul realizat să satisfacă destinaţia cerută. Folosind cunoştinţele în domeniu, imaginaţia şi creativitatea proiectantul rezolvă tema propusă prin achiziţionarea şi procesarea datelor, efectuarea calculelor şi stabilirea soluţiei optime.

Obiectivele activităţii de proiectare în domeniul mecatronic urmăresc nu doar realizarea practică a sistemului propriu-zis, ci şi asigurarea adaptării produsului pentru creşterea eficienţei şi obţinerea de beneficii substanţiale. De aceea este necesară perfecţionarea continuă a activităţii de proiectare prin utilizarea de metode/metodologii noi şi avansate pentru ca produsul mecatronic realizat să rămână competitiv o perioadă cât mai îndelungată.

Deoarece sistemele mecatronice au în componenţă cel puţin trei categorii de elemente constructive (mecanice, electrice şi informatice) proiectarea în acest domeniu trebuie să îmbine elementele specifice pentru fiecare dintre acestea folosind surse de informaţie din cele mai diferite (rezistenţa şi studiul materialelor, fizica, chimia, mecanica, termodinamica, matematica, electrotehnica, electronica, optica, informatica, tehnologii de fabricaţie, ştiinţele economice, medicină, design, ergonomie).

Proiectarea tradiţională cuprinde ca etape succesive conturarea structurii mecanice şi ataşarea ulterioară a părţilor electronice şi de software ceea ce determină creşterea volumului (gabaritului) produsului. De aceea ***proiectarea mecatronică*** urmăreşte înlăturarea tendinţei de a aborda fiecare parte componentă separat şi necesită o proiectare simultană şi integrată a acestor elemente, ceea ce duce la apariţia soluţiilor optime din punctul de vedere al eficienţei şi performanţelor întregului sistem mecatronic.

Diferenţe apar şi în elaborarea conceptelor şi anume:

- *proiectarea mecanică* permite crearea unor soluţii paralele;
- *proiectarea electronică* restrânge varietatea soluţiilor datorită mulţimii limitate de componente specifice;
- *proiectarea software* are la bază algoritmi care, în general sunt singulari pentru problema dată.

Eficienţa proiectării se evidenţiază prin calitatea şi performanţele produsului mecatronic realizat, fiind influenţată de factori cum sunt: informaţiile în domeniu, metodica de proiectare, echipamentele şi condiţiile de lucru, managementul procesului de proiectare.

Proiectarea fiecărui element constructiv, subansamblu şi ansamblu se face prin efectuarea unor calcule de dimensionare şi verificare pe baza următoarelor *criterii*:

– *de rezistenţă*: pentru obţinerea tensiunilor efective mai mici decât cele admisibile;

– *de deformare*: prin limitarea deplasărilor sau rigidităţilor efective la valorile admisibile determinate de condiţiile de funcţionare corectă;

– *de stabilitate*: prin evitarea condiţiilor de apariţie a flambajului (elastic sau plastic);

– *de rezonanţă*: prin nesuprapunerea frecvenţelor excitaţiilor interne sau externe peste frecvenţele proprii ale structurii;

– *de vibraţii şi zgomot*: prin analiza răspunsului în frecvenţă şi a spectrelor de zgomote;

– *de durabilitate*: prin evaluarea duratei de funcţionare în condiţii impuse;

– *termice*: evitarea dilataţiilor datorate variaţiilor de temperatură în timpul funcţionării;

– *de uzare*: evitarea fenomenelor de uzare la contactul între suprafeţe;

– *de fiabilitate*: prin evaluarea previzională cu indicatori cantitativi.

Modelarea este un aspect important care se manifestă cu deosebiri între elementele mecanice, electronice şi software, astfel:

– funcţionarea ansamblurilor mecanice poate fi sugerată printr-un model funcţional, animaţie sau schiţă în perspectivă;

– utilizarea părţii electronice este înţeleasă de specialist prin consultarea unei scheme;

– elementele de programare sunt introduse prin interfaţa software.

1.4. Sisteme mecanice specifice construcţiilor mecatronice

În cadrul structurii constructiv-funcţionale a unui sistem mecanic o categorie importantă este formată din ***sistemele de transmitere mecanice*** care se compun din elemente constructive pentru transmiterea, transformarea şi amplificarea semnalelor. Unii parametri de intrare (ex.: vitezele) se transmit şi se transformă cantitativ (de la o valoare la alta) şi calitativ (din rotaţie în translaţie sau invers), iar alţii (ex.: puterea) se transmit la o valoare care se menţine aproape constantă (scade puţin datorită randamentului transmisiei) şi se transformă calitativ (dintr-o formă în alta, ex.: căldură) obţinând parametrii de ieşire.

De exemplu, la mişcarea de rotaţie, modificarea vitezei unghiulare (turaţiei) elementului condus (parametrul de ieşire) faţă de viteza elementului conducător (parametrul de intrare) se pune în evidenţă prin definirea unui *raport de transmitere*:

$$i = \pm \frac{\omega_1}{\omega_2} = \pm \frac{n_1}{n_2} \tag{1.1}$$

Convenţional semnul + sau - se adoptă în funcţie de sensul de mişcare a celor două elemente (acelaşi sens, respectiv sensuri contrare).

În cazul mişcării de translaţie se defineşte similar *raportul de transfer* între vitezele liniare:

$$i = \frac{v_1}{v_2} \tag{1.2}$$

Clasificarea sistemelor de transmitere mecanice se face după mai multe *criterii*:

- *natura contactului între elemente*
  - – cu element intermediar
    - ● prin frecare cu element de tracţiune:
      - – fără sfârşit: ◦ transmisii prin *curele*
        - – late
        - – trapezoidale
        - – rotunde
      - ◦ transmisii prin ***cabluri***
      - – fixat la capete de elementele între care transmit mişcarea
    - ● prin angrenare:
      - ◦ transmisii prin *lanţuri*
      - ◦ transmisii prin ***curele dinţate***
  - – prin contact direct:
    - ● prin frecare
      - ◦ transmisii ***cu roţi de fricţiune***
      - ◦ transmisii ***cu şurub*** de mişcare
      - ◦ transmisii cu pârghii
    - ● prin angrenare:
      - ◦ transmisii cu roţi dinţate
        - – ***pinion-cremalieră***
        - – cilindrice
        - – conice
        - – melcate
        - – elicoidale
      - ◦ transmisii ***planetare***
      - ◦ transmisii ***armonice***
- *natura mişcării elementului condus*

– *rotaţie*: transmisii prin curele, cabluri, lanţuri, roţi de fricţiune, angrenaje;

– *translaţie*: ◦ transmisii cu cremalieră: – pinion – cremalieră
– melc – cremalieră
◦ transmisii şurub – piuliţă: – ***cu alunecare*** între spire
– ***cu rostogolire***

– *susţinere şi ghidare*: ◦ lagăre: – cu alunecare
– cu rostogolire (rulmenţi)
◦ ghidaje: ***– cu alunecare***
– cu rostogolire

➢ *valoarea mărimii de ieşire (raportul de transmitere)*

i = constant	i > 1 ◦ transmisii reductoare
i = variabil (variatori)	i = 1 ◦ transmisii inversoare
	i < 1 ◦ transmisii multiplicatoare.

1.5. Domenii de utilizare a sistemelor mecatronice

De la automobil, maşini de spălat, oglinzile pentru chirurgia laser, controlul suprafeţelor cu ajutorul navetelor spaţiale, orice sistem mecanic se pretează la control electronic. Pentru a îndeplini acest lucru, toate aceste sisteme mecatronice depind de interacţiunea senzorilor, calculator şi actuatori.

Sistemele mecatronice folosesc senzori pentru conversia mărimilor mecanice în semnale electrice; senzorii sunt dinamici şi uneori trebuie ei înşişi modelaţi. Algoritmii calculatorului comandă actuatorii pe baza ieşirii senzorului, iar actuatorii transformă intrările electrice în mişcări mecanice. De aceea pentru modelarea unui sistem mecatronic trebuie să fie conectate toate aceste subsisteme.

Sistemele mecatronice sunt utilizate în cele mai diferite domenii ale tehnicii:

– construcţia de maşini, în special maşini-unelte cu comandă numerică;
– construcţia autovehiculelor cu sisteme automate de reglare şi control;
– construcţia roboţilor industriali;
– tehnica de calcul: echipamente periferice;
– aparatura biomedicală: roboţi chirurgicali;
– aparatura militară;
– aparatura electrocasnică;
– aparate de fotografiat cu reglare automată, camere video;
– tehnica de telecomunicaţii;
– tehnica construcţiilor civile şi hidrotehnice;
– tehnica transporturilor pe terestre, navale şi aeriene;
– navigaţia cosmică.

Un sistem mecatronic reprezentativ este ***robotul inteligent***, cu subsistemele lui de execuţie, acţionare, senzorial şi de conducere, hardware şi software. Robotul industrial este utilizat în procesul de producţie pentru realizarea funcţiilor de manipulare analoage cu cele realizate de mâna omului sau de automatizare a anumitor secvenţe ale acestui proces.

Structural robotul industrial se compune din patru subsisteme reprezentate în figura 1.13.

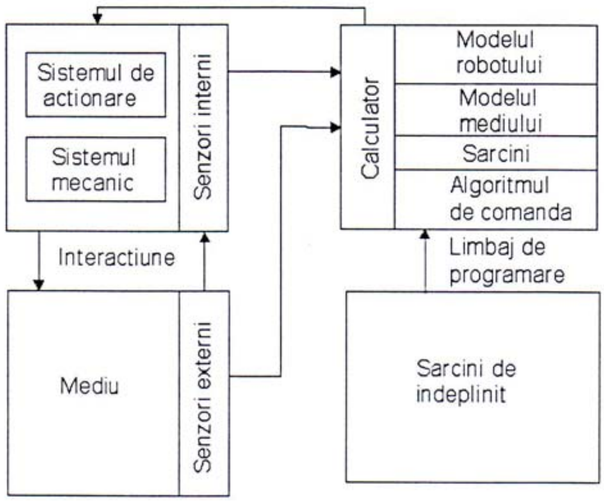


Fig. 1.13 *Schema bloc a unui robot industrial*

- *Sistemul de conducere (comandă)* are rolul sistemului nervos uman de adaptare a stării interne a robotului la starea externă a mediului prin comenzi date sistemului de acţionare, stabilind astfel succesiunea şi durata mişcărilor elementelor ce compun sistemul mecanic.
- *Sistemul de acţionare*, analog sistemului muscular uman, pune în mişcare elementele sistemului mecanic pe baza comenzilor primite de la sistemul de comandă.
- *Sistemul mecanic*, analog sistemului osos uman, asigură mişcările dorite obiectelor manipulate.
- *Sistemul sensorial*, asemenea organelor de simţ, transmite informaţii despre starea internă şi externă a robotului către sistemul de comandă.

Un alt exemplu foarte bun de sistem mecatronic este o camera de luat vederi care înglobează principial aceleaşi subsisteme.

Sisteme mecatronice se utilizează şi în ***domeniul tehnicii de calcul***. Sistemul de calcul este un dispozitiv care lucrează automat, sub controlul unui program memorat, acceptând şi prelucrând date în vederea producerii de informaţii. În reprezentarea din figura 1.14 sunt arătate componentele unui sistem de calcul (unitatea centrală şi echipamentele pentru introducerea, extragerea şi stocarea datelor) şi cele trei funcţii de bază (transferul, stocarea şi prelucrarea datelor).

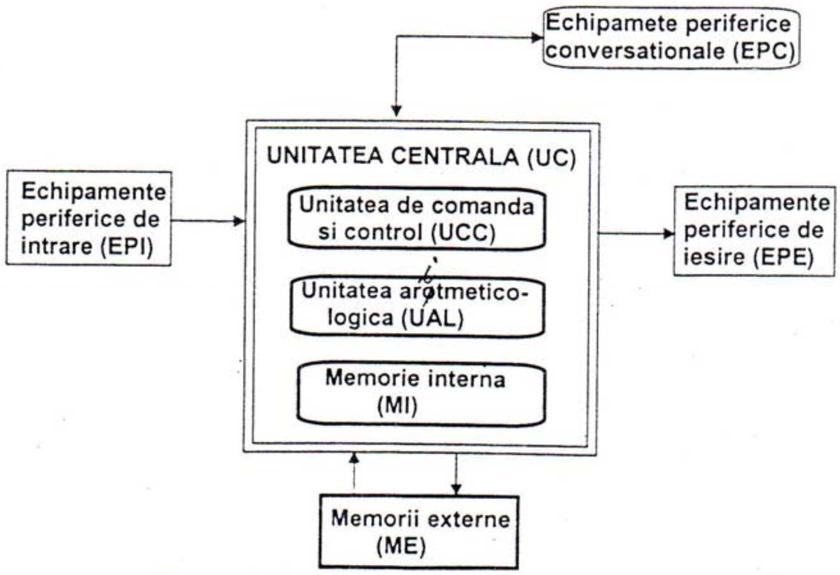


Fig. 1.14 *Schema bloc a unui sistem de calcul*

Echipamentele fizice din figura1.14 alcătuiesc partea de *hardware* a sistemului, iar ansamblul de programe, procedee şi reguli necesare funcţionării sistemului constituie partea de *software*. Caracteristicile echipamentelor periferice sunt constructiv-funcţionale (determinate de funcţia, structura şi modul de realizare) şi caracteristici externe (de interfaţă) care definesc relaţiile cu celelalte componente.

Echipamentele periferice de stocare a informaţiei (hard-discuri, unitate de bandă magnetică, unitate de CD, unitate floppy-disc) sunt reprezentate, din punct de vedere al structurii, în figurile 1.15 – 1.18.

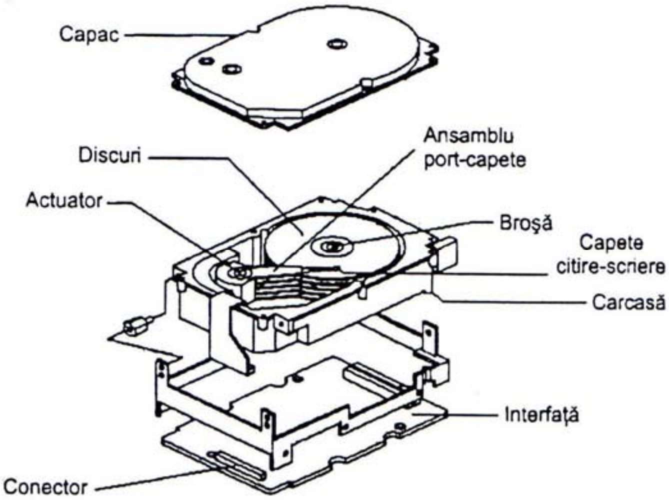


Fig. 1.15 *Elementele componente ale hard-discului*

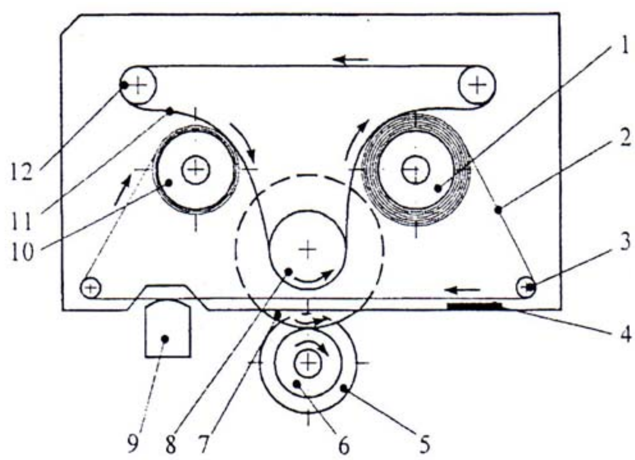


Fig. 1.16 *Structura cartuşului cu bandă magnetică*

Elementele din construcţia unităţii de cartuş cu bandă magnetică sunt: *1* – rolă debitoare, *2* – banda magnetică, *3* – role de ghidare, *4* – sistem de curăţire a benzii, *5* – motor pentru antrenarea benzii, *6* – rolă motoare, *7* – rolă de fricţiune, *8* – rolă de curea, *9* - cap magnetic, *10* – rolă acceptoare, *11* – curea izoelastică, *12* – role de ghidare a curelei.

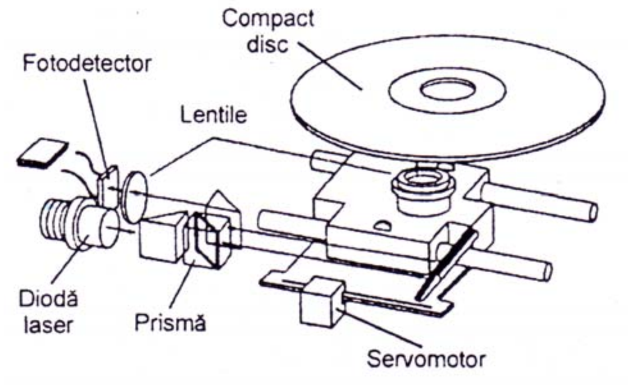


Fig. 1.17 *Structura internă a unităţii pentru CD*

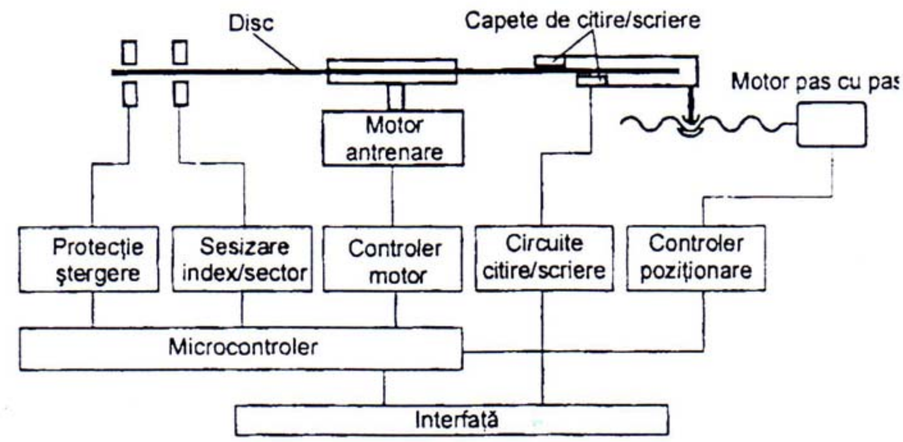


Fig. 1.18 *Schema structurală a unităţii pentru floppy-disk*

Echipamentele de imprimare şi trasare conţin un bloc de comandă care transformă informaţiile primite de la unitatea centrală sau de la tastatură în comenzi mecesare acţionării celorlalte mecanisme, corelând mişcările între ele.

Mai există şi echipamente periferice conversaţionale (mouse, joystick) care asigură conversaţia între operator şi calculator. Mouse-ul asigură controlul deplasării unui cursor grafic pe ecran şi în funcţie de modul de convertire în semnale electrice a mişcării acestuia pe o

suprafaţă poate fi mecanic, electromecanic, optomecanic (figura 1.17), optic, piezoelectric, inductiv, inerţial, etc.

În figura 1.19 sunt reprezentate: *1* – bila, *2x, 2y* – elemente pentru transmiterea prin fricţiune a mişcării, *3x, 3y* – discuri cu fante, *4x, 4y* – leduri, *5x, 5y* – elemente fotoreceptoare (fototranzistori), *6* – butoane, *7* – carcasa, *8* - cablu.

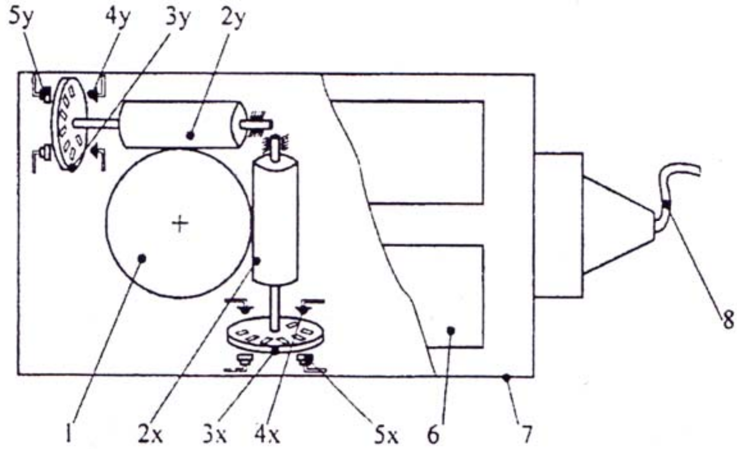


Fig. 1.19 *Structura unui mouse optomecanic*

În ***industria de automobile*** abordarea mecatronică a făcut posibile soluţii pentru următoarele sisteme: controlul navigaţiei, îmbunătăţirea vizibilităţii pe timp de noapte sau pe ceaţă, evitarea coliziunilor, parcarea automată, afişarea indicaţiilor instrumentelor de bord pe parbriz, etc. Automobilul modern cuprinde cât mai mulţi senzori conectaţi la un sistem controlat de un microprocesor capabil să efectueze corecturile necesare funcţionării optime, iar tendinţa actuală este de concepere a unor sisteme informaţionale şi integrarea lor în produse prin reţele de transmitere a datelor în vederea îmbunătăţirii siguranţei vehiculului. În acest sens automobilul este conceput ca un sistem mecatronic pentru realizarea interacţiunii actuatorilor de pilotare, frânare şi suspensie prin controlul electronic prin calculator.

În figura 1.20 este schematizat modulul care asigură controlul tuturor parametrilor care influenţează performanţele funcţionale ale motorului.

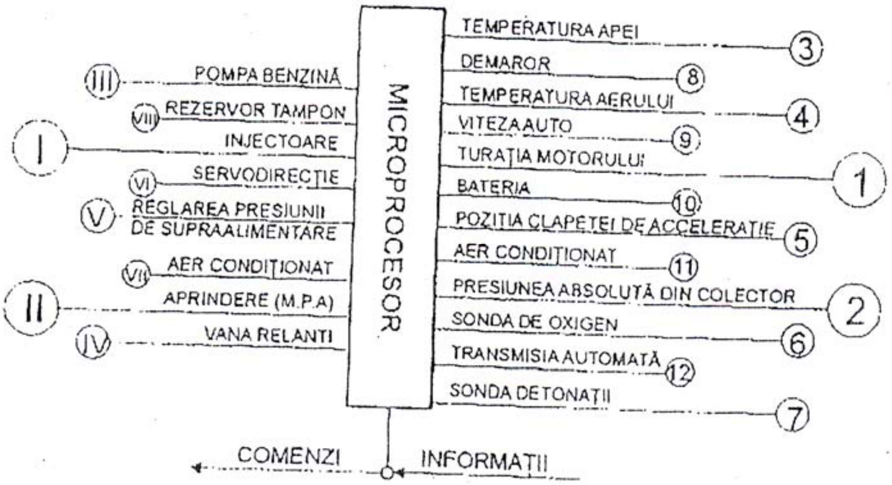


Fig. 1.20 *Schema principială a sistemului de management al motorului*

Aplicaţii ale mecatronicii în ***ingineria biomedicală*** s-au realizat în domeniul reabilitării (echipamente de asistare sau suplinire a funcţiilor motrice şi senzoriale: proteze, orteze – figura 1.21) şi a chirurgiei (microroboţi).

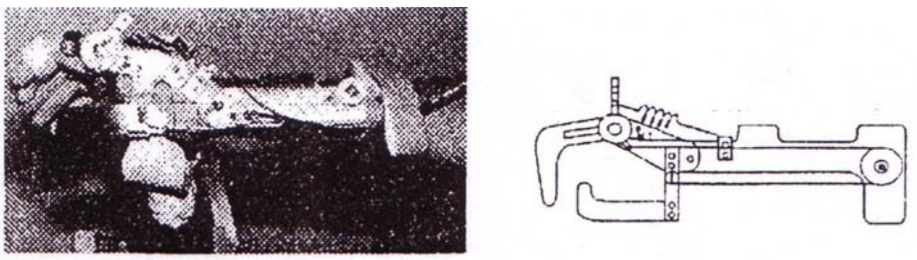


Fig. 1.21 *Orteza activă de mână*

Sistemele fizice care pot executa mişcări se numesc ***transmisii*** care după natura lor pot fi: mecanice, hidraulice, pneumatice, electrice, hibride, etc.

Transmisia mecanică are rolul de transmitere a lucrului mecanic şi a mişcării de la maşina motoare la o maşină transformatoare sau la o maşină de lucru prin modificarea parametrilor cinematici (viteza,

acceleraţia, etc.). Reprezentarea schematică a unei transmisii mecanice este redată în figura 1.22 cu următoarele notaţii:

$\Phi_1(t)$ – legea de mişcare a elementului conducător (parametru de intrare);

$\Phi_2(t)$ – legea de mişcare a elementului condus (parametru de ieşire);

i – raportul de transmitere;

α – parametru de reglare.

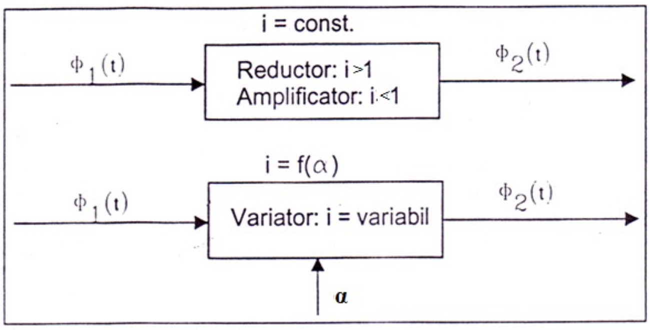


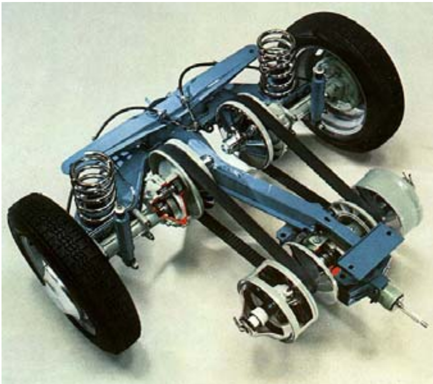
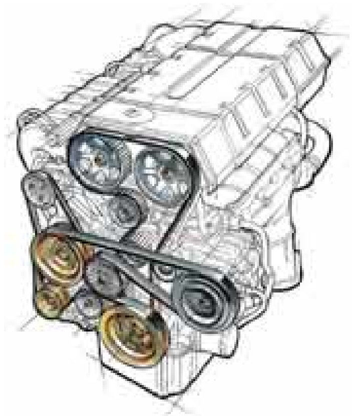
Fig. 1.22 *Schema bloc a unei transmisii mecanice*

Tipuri de sisteme de transmitere mecanice utilizate în construcţiile mecatronice sunt enumerate în continuare:

- prin lanţ



- curea sincronă dinţată

- prin cabluri mecanice



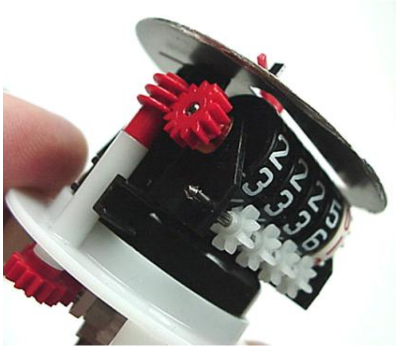
- prin fricţiune



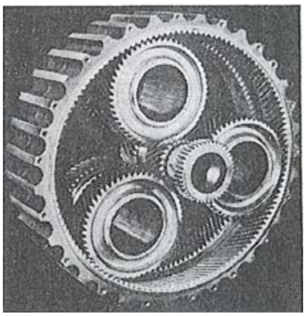
- prin roţi dinţate







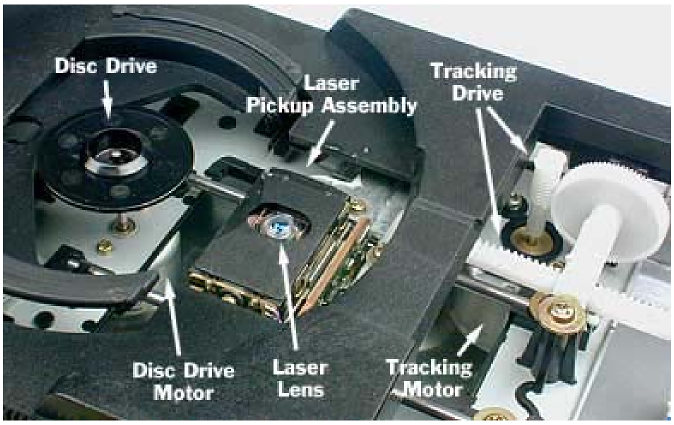
- planetare (monomobile şi diferenţiale)





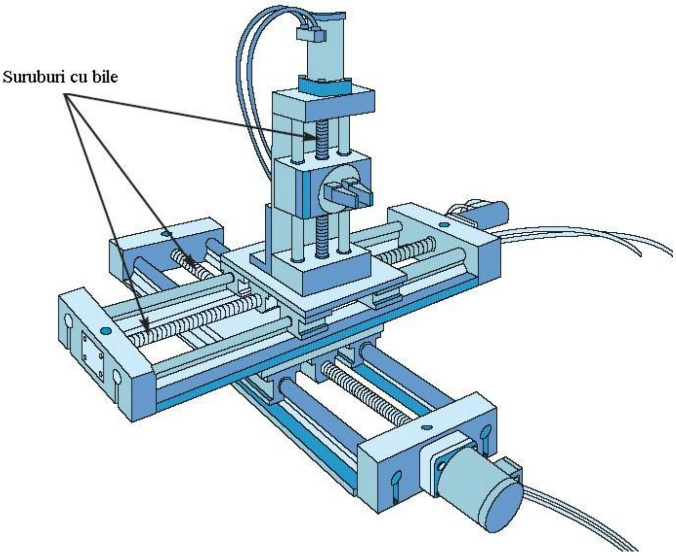
- armonice

- pinion–cremalieră



- şurub–piuliţă (cu alunecare sau cu elemente de rostogolire)





➢ ghidaje (de alunecare, de rulare)



